

DBO方式により建設した次世代ストーカ 焼却施設の運転状況

山本 充利* 井口 哲治* 佐々木 稔*
岡 武裕* 有原 元史* 香島 正美*

Performance of Next-generation Stoker Type Incinerator System

by Mitsutoshi YAMAMOTO, Tetsuji IGUCHI, Minoru SASAKI, Takehiro OKA, Motoshi ARIHARA, & Masamitsu KOSHIMA

The performance of a leading-edge stoker type incinerator system, currently in operation at a municipal waste incineration plant, has been assessed. This system follows a DBO (Design-Build-Operate) plan in an effort to realize cost-effectiveness and superior servicing. A next-generation stoker, featuring exhaust gas recirculation and a forced, air-cooled grate, constitutes the core of this system. The exhaust gas recirculation enables low excess air ratio operation, reduced exhaust gas emission, and improved heat recovery. Moreover, the NOx reduction effect by this system enables selective non-catalytic reduction, thus making catalytic denitrification unnecessary. Assessment results confirmed stable operation of this system.

Keywords: Next generation stoker technology, Exhaust gas recirculation, Forced air cooled type grate, Low excess air ratio, NOx reduction, Design build operate method, Dioxins, Selective non-catalytic reduction, Arakawa Clean Center, Incineration plant

1. はじめに

近年、自治体等においても、主には財政難に端を発したコスト意識の高まりがあり、種々のコスト削減策が試みられている。公共施設等の建設、運営事業についても、事業コストの削減、より質の高い公共サービスの提供を目指し、PFI（Private Finance Initiative：プライベート・ファイナンス・イニシアティブ）方式による公共施設の建設が行われている。PFIとは、公共施設等の建設、維持管理、運営等を民間の資金、経営能力及び技術的能力を活用して行う新しい手法である。廃棄物処理施設もPFI方式の対象となる代表的施設の一つに挙げられる。また、このPFI方式に準じる方式として、採用が増えているものにDBO（Design：設計、Build：施工、Operate：運営）方式がある。DBO方式は資金調達を公共が担うことがPFI方式との主たる相違点であるが、PFI方式と同様に建設と運営を一体の事業とすることで、民間の能力を生かし、事業コストの削減と質の高いサービスの両立を目指すものである。福島市のあらかわクリーン



09-81 01/225

写真1 あらかわクリーンセンター
Photo 1 Arakawa Clean Center

センター焼却工場（写真1）の建替事業は、このDBO方式によって実施された。当社はこのあらかわクリーンセンター焼却工場の事業に関して民間事業者を選定され、施設建設と20年間の施設運営の契約を福島市と締結した。契約後、施設の建設を行い、現在、運営を開始して約1年が経過した。

本施設は、次世代ストーカ技術を組み込んだ環境負荷の低い最新鋭の施設である。次世代ストーカ技術とは、豊富な実績のあるストーカ式焼却施設に、環境負荷の低減、効率の向上等に寄与する技術を新たに組み込むこと

* 荏原環境プラント(株)

で、ストーカ焼却施設を一段と進歩させるものである。更に、本施設には灰溶融炉も備えており、焼却炉から排出された灰を溶融してスラグ化し、道路用の骨材等に有効利用することで、埋立処分量を大きく削減できるシステムとなっている。

本施設は新しい事業形態であるDBO方式によって建設され、更に当社における次世代ストーカ焼却施設の初号機でもあり、先進的な施設としての大きな役目を果たす施設である。本稿では、本事業の概要と次世代技術について報告する。

2. 事業概要

図1に本事業の事業スキームを示す。前述のとおり本事業は、民間事業者が一般廃棄物等の処理を行うあらかわクリーンセンター焼却工場の設計・施工を行い、更にその運営までを一括して行うDBO方式による事業である。市は処理施設の建設及び運営にかかわる資金の調達を行い、処理施設を所有する。民間事業者は、処理施設を建設し、その施設の運営を20年間にわたって行う。当社は処理施設の設計・施工を行い、2008年8月末に竣工・引渡しを行った。引続き9月から本施設の運営のための特別目的会社（SPC）である(株)あらかわEサービスによって運営を開始した。今後2028年8月までSPCによる運営が行われる計画となっている。ごみ焼却に伴って発生する余熱の一部は、場内で利用するとともに、周辺施設に供給する。また、余熱の大部分は発電に供し、発電した電力は処理施設の所内及び隣接する資源化工場で利用する。余剰電力に関しては福島市が電力会社に売電を行う。更に処理に伴って施設から発生する副生成物（スラグ、メタル等）については、リサイクルを行う。

本事業では、高効率、低環境負荷等のプラントとしての性能を発揮することはもちろんであり、更に低いコストと高い信頼性を両立した施設が求められる。また、運

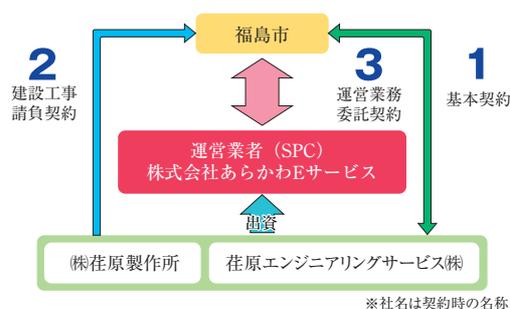


図1 事業スキーム
Fig. 1 Business scheme

営においては、計画ごみ処理量や公害防止基準値をはじめとした運営に関する諸条件を遵守しつつ、20年間にわたり安定した運営を行う必要がある。DBO方式は、ごみ処理プラントメーカーとしての総合力を必要とする事業である。

3. 施設概要・特徴

あらかわクリーンセンター焼却工場の主要な設備の概要を次に示す。

- (1) 焼却炉
形 式：全連続燃焼式火格子焼却炉
(エバラ HPCC21-150型)
処 理 量：220 t/d (110 t/d × 2基)
- (2) 灰溶融炉
形 式：プラズマ式灰溶融炉
処 理 量：20 t/d
- (3) 廃熱ボイラ
形 式：過熱器付自然循環式水管ボイラ
蒸 発 量：最大19.8 t/h × 2基
蒸気条件：過熱器出口400℃ × 3.9 MPa (ゲージ圧力)
- (4) 排ガス処理設備
焼 却 炉：減温塔，2段バグフィルタ，
乾式排ガス処理，無触媒脱硝
灰溶融炉：バグフィルタ，乾式排ガス処理，
触媒脱硝塔，焼却炉排ガスへ合流処理
- (5) 煙突
形 式：内筒鋼板製 (外筒建屋一体型)
高 さ：59 m
- (6) 排水処理設備
形 式：凝集沈殿ろ過方式
- (7) 蒸気タービン発電設備
形 式：抽気復水タービン
発 電 量：最大5100 kW
- (8) 余熱利用
形 式：蒸気供給及び温水供給
供 給 先：隣接資源化施設 (破碎機防爆用蒸気)
近隣場外施設 (温水)
- (9) 建築物
建築構造：地下1階・地上6階
プラットホーム2階
(ランプウェイ方式)
S造，RC造，SRC造
建築面積：約3900 m²
延べ床面積：約10100 m²

(10) 公害防止基準値

〔煙突出口での排ガス基準値 (O₂12%換算)〕

ばいじん：0.01 g/m³ (NTP) 以下

≪0.007 g/m³ (NTP) 以下≫

硫黄酸化物：50 ppm以下 ≪35 ppm以下≫

窒素酸化物：100 ppm以下 ≪70 ppm以下≫

塩化水素：50 ppm以下 ≪35 ppm以下≫

ダイオキシン類：0.1 ng-TEQ/m³ (NTP) 以下

≪0.07 ng-TEQ/m³ (NTP) 以下≫

※≪≫内は要監視基準値。通常はこの値以下にて運転。

図2に設備フローを示す。プラットホームへ搬入されたごみは、ごみピットに投入され、ごみピット内で貯留、攪拌された後、ごみクレーンで焼却炉に投入される。投入されたごみは、焼却炉内で燃焼される。

ごみの燃焼によって発生した排ガスは、廃熱ボイラで熱回収された後、エコマイザ、減温塔で更に低温化され、No.1バグフィルタで、ばいじんとダイオキシン類等を除去し、No.2バグフィルタで、塩化水素と硫黄酸化物を除去する。通常、有害物質を除去された排ガスは、そのまま煙突から排出されるが、本施設では排ガスの一部を排出せずに分岐し、焼却炉に戻す排ガス再循環ラインを設けている。

焼却炉から排出される灰は、前処理設備で粗大物を除去した後に破碎し、更に鉄とアルミを除去し、いったん、貯槽に貯留した後、灰溶融炉へ定量供給する。

灰溶融炉に投入された灰は、プラズマトーチにより約1200℃以上の温度で溶融される。溶融された灰はスラグと呼ばれる。炉内に溶けた状態で溜まったスラグは、炉の出滓口からオーバーフローして、下部のコンベヤ付きの水槽に入り、急冷されて水砕スラグとなる。水砕されたスラグは、更に破碎機、ふるいによって粒度調整した後に、いったん、場内のスラグヤードへ貯留される。その後、利用者により引き取られ、道路工事等に有効利用される。

4. 次世代技術

近年、環境負荷への認識とその軽減への取り組みは大きく進歩し、新しい手法やシステムが開発されている。廃棄物処理技術においても有害ガス排出量の低減、施設のコンパクト化、熱回収の高効率化などを視点に開発が進められてきた。数多くの運転実績をもつストーカ式都市ごみ焼却技術においても、次世代型システムの開発が進んでいる。当社でも次世代ストーカ技術 (HPCC21)* の開発を行ってきた。図3にその開発要素を示す。

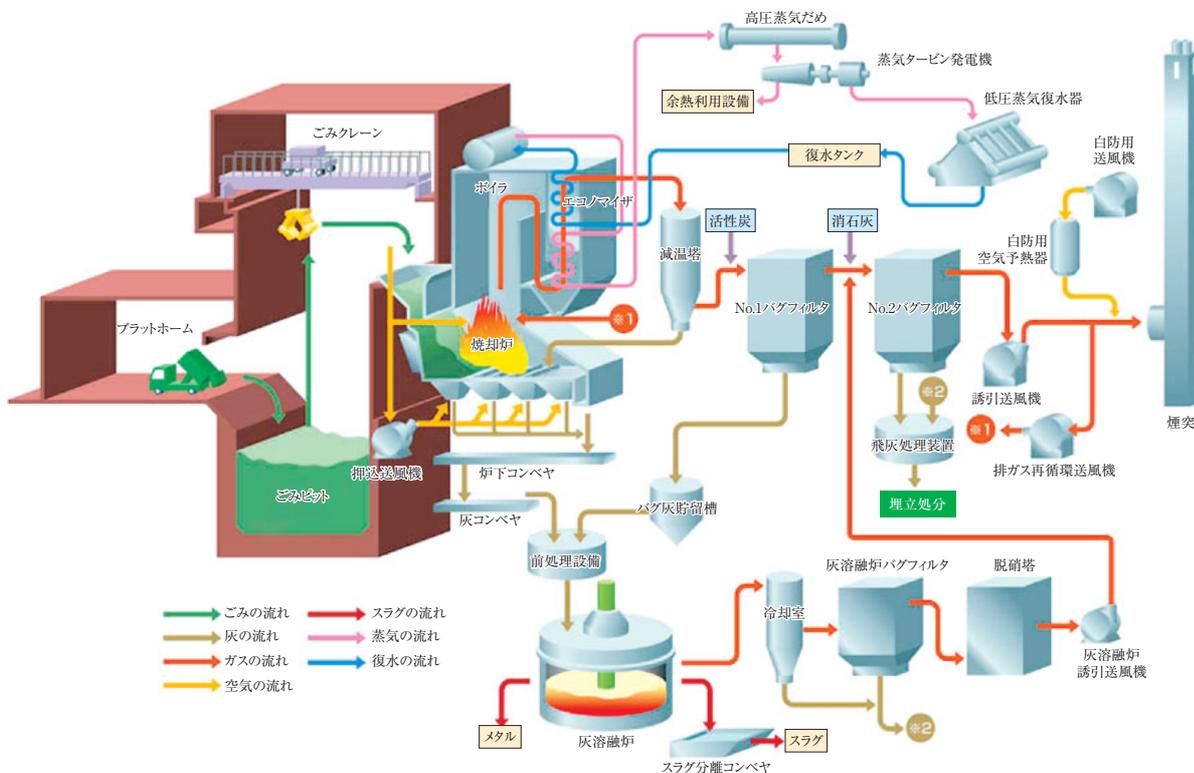


図2 あらかわクリーンセンター設備フローシート
Fig. 2 Arakawa Clean Center flow sheet of plant

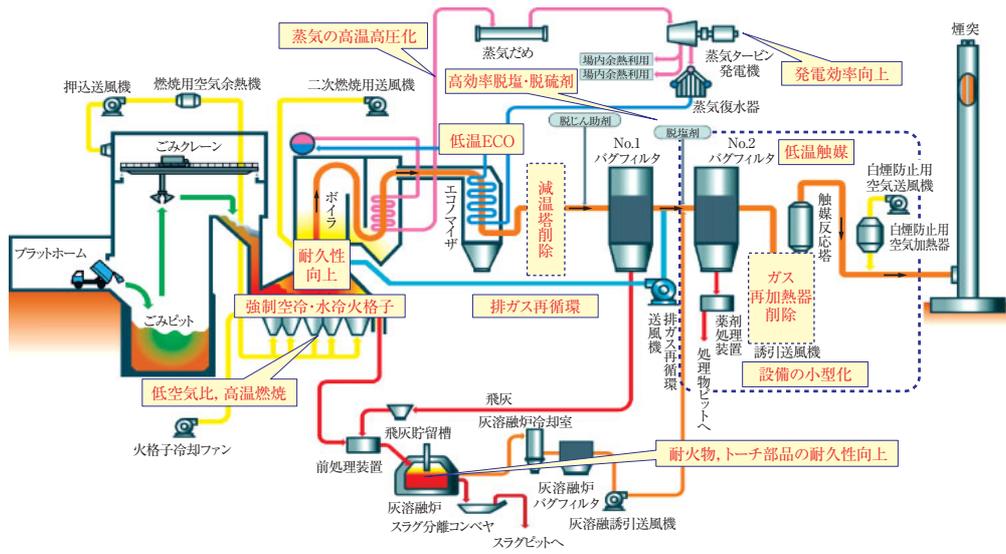


図3 HPCC21の開発要素
Fig. 3 Development status of HPCC21

本施設においては、HPCC21技術のうち、その中核技術である排ガス再循環、強制空冷火格子を新設の実施設として初導入している。また、焼却炉においては、フルフラットストーカ、耐火タイル等も採用している。灰溶融炉についても、耐火物とトーチ部品の耐久性向上を図るなどしている。

排ガス再循環は、図4に示すように従来の二次燃焼空気に替えて、焼却炉から発生した排ガスを再び焼却炉燃焼室へ吹き込むものである。低空気比燃焼のために二次

燃焼空気量を減らすと燃焼室での混合攪拌が十分に行えなくなる。その改善策として、再循環排ガスの吹き込みによる混合攪拌効果を利用することで、低空気比での安定燃焼が確保できる。更に低空気比化することで排ガス量の低減も図られ、これによって熱回収の高効率化、施設のコンパクト化が図れる利点がある。また、排ガス再循環には、窒素酸化物の発生抑制効果もある。従来施設では、窒素酸化物濃度を70 ppm以下とするために触媒脱硝装置を設置していたが、本施設では触媒脱硝装置なしで達成できている。また、脱硝薬品使用量も従来より少なくなり、ランニングコストの削減にも寄与している。

強制空冷ストーカは、ストーカ式焼却炉の運転維持管理上の重要な要素の一つである火格子の寿命を延ばす新

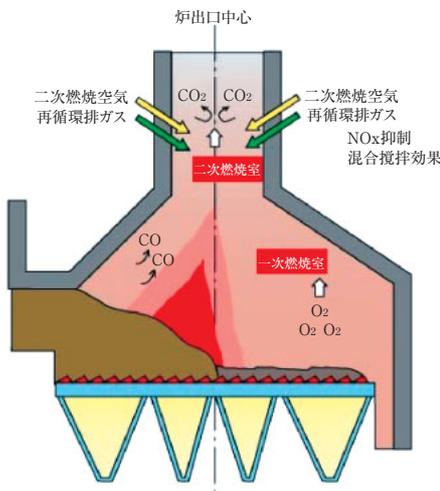


図4 排ガス再循環による燃焼
Fig. 4 Schematic of combustor applied to exhaust gas recirculation

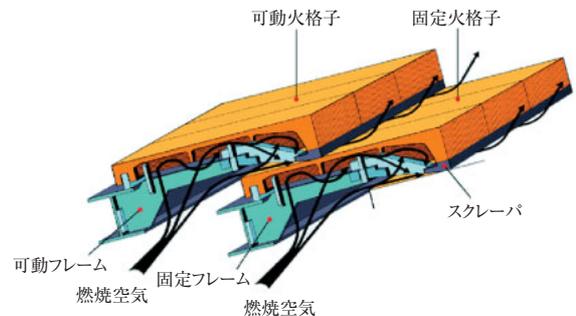


図5 従来の火格子
Fig. 5 Schematic of conventional grate



09-81 02/225

写真2 強制空冷火格子
Photo 2 Forced air-cooled type grate

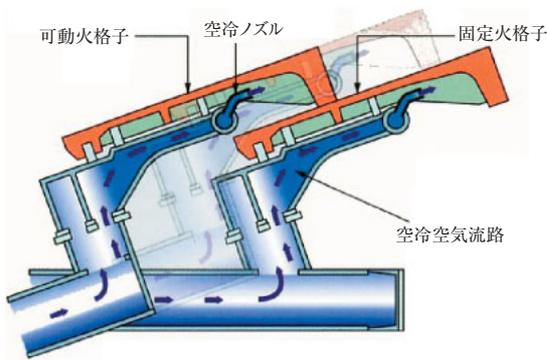


図6 強制空冷火格子
Fig. 6 Schematic of forced air-cooled type grate

技術である。火格子は特に先端部分の温度上昇による焼損が進みやすい。図5に示すとおり、従来は燃焼空気によって火格子全体を冷却していたが、強制空冷火格子は、写真2、図6に示すように先端部分に強制的に空気を吹きつけるようにしたものである。これによって燃焼による火格子温度の上昇を抑え、焼損を抑制し、寿命を延ばすことができる。

5. 施設の運転状況

以下に、次世代技術の検証を中心に運転状況を報告する。

5-1 排ガス再循環の効果

図7に排ガス再循環率と窒素酸化物（NO_x）濃度、尿素噴霧量、CO濃度、O₂濃度の相関を示す。本施設では、無触媒脱硝でNO_x排出濃度を所定以下になるよう運転制御しており、排ガスNO_x濃度は一定となっている。この運転条件で再循環ガスを多くする、すなわち再循環率を大きくしていくと尿素水噴霧量が減少傾向にあることから、排ガス再循環によるNO_x削減効果を確認できた。同時に、再循環ガスによる攪拌効果で低空気比で

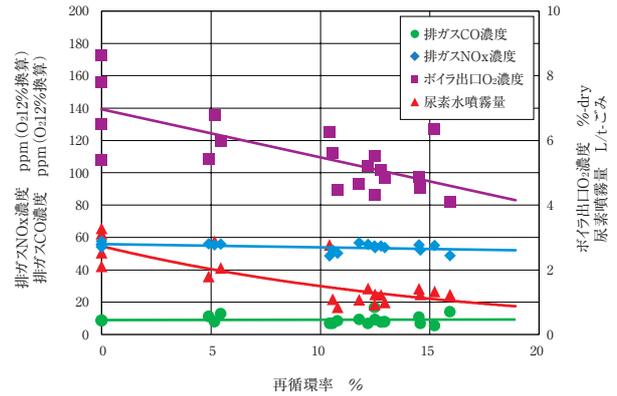


図7 排ガス再循環率と各値の相関
Fig. 7 Effect of gas circulation rate on NO_x, CO, O₂ concentrations in exhaust gas and urea injection

あっても、CO濃度を一定に保ちつつ安定した運転が可能となることも確認した。

図8、図9に排ガス再循環有り（空気比1.30）及び排ガス再循環なし（空気比1.48）に設定した場合の運転データ、各種測定値の比較を示す。いずれの場合も安定した運転は可能であるが、排ガス再循環を用い低空気比運転とすることで、出口排ガス量を削減でき、尿素水噴霧量も削減できた。ダイオキシン類は、排ガス、ばいじんとも再循環有りのケースがより低濃度を示した。これは、高温の再循環ガスを炉内に混合することによって、実ガス流量が増大し、二次燃焼室内の混合攪拌が促進されたためであり、これまでの当社実証炉での実績¹⁾と一致している。以上のように、本システムによって触媒脱硝塔なしでNO_x濃度70 ppmを安定的に達成するとともに、低空気比安定燃焼を実現することができた。

更に、本施設にて次世代ストーカ技術を導入したこと

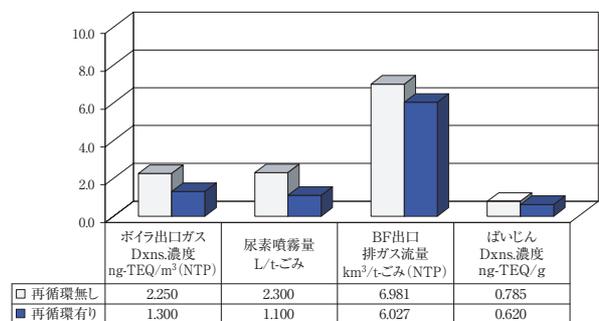


図8 ダイオキシン類、尿素、噴霧量、排ガス量の測定値
Fig. 8 Measurement result on DXNs, urea injection and exhaust gas

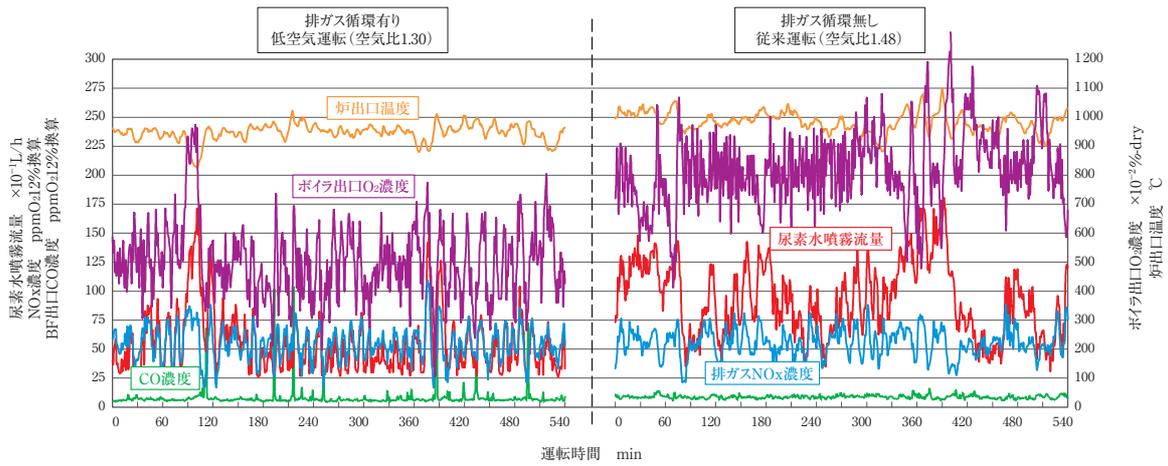


図9 運転状況トレンド

Fig. 9 Trend data of operation status

による熱回収効率の向上についても試算した。本施設では、低空気比運転による排ガス量の削減及び触媒脱硝塔を非設置とし排ガス再加熱を不要としたことによって、排出熱量の低減が図られている。これによって、発電量は従来比で約15%向上した。

5-2 強制空冷火格子

環境負荷低減、高効率熱回収を達成するために、次世代ストーカ技術 (HPCC21) を採用している本施設では、ストーカ及び火格子の高温化は避けられない状況である。従来の火格子の冷却は、ストーカ炉下シュートから供給される燃焼空気を使用し、燃焼空気が火格子裏面を通過することによって火格子全体を冷却するものであった。しかし、燃焼空気量は燃焼状態によって増減し、燃焼空気温度はごみ質によって高くなることもあるため、

焼損の激しい部分を有効に冷却ができないことがあった。そこで本施設では安定した燃焼状態での長期連続運転と火格子の長寿命化を図るため、強制空冷火格子を採用した。

強制空冷火格子は、燃焼空気系統から独立した冷却空気系統によって、火格子先端の高温部に積極的かつ定量的に冷却空気を吹きつけ、効率的に火格子を冷却する。燃焼状態の変化による燃焼空気量変化の影響を受けない直接的かつ効率的な冷却方式である。他施設の運転実績では、従来比で2倍以上の耐用年数を確認している²⁾。

火格子の焼損は、高温域における溶融塩と排ガス腐食成分の複合による粒界腐食であることが確認されており、腐食進行は火格子温度に依存している。火格子温度が400℃を超えると急激に腐食減肉が進行するため、火格子焼損抑制には火格子温度を350℃以下に低減させる

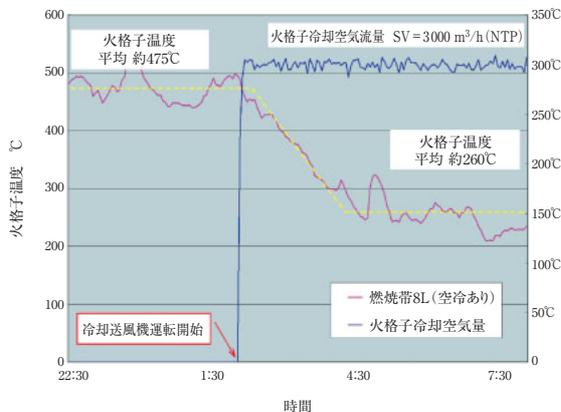


図10 火格子温度の減温効果

Fig. 10 Effect of cooled air injection on temperature of fire grate



写真3 炉内燃焼状況

Photo 3 Combustion flame in the combustion chamber

09-81 03/225

ことが非常に効果的である。本施設の強制空冷火格子は、主燃焼域で火格子温度が高く、焼損の最も激しい箇所（乾燥帯先端から燃焼帯）に設置している。

火格子温度の評価では、**図10**に示すとおり、強制空冷用の送風機を運転すると、運転前に平均475℃であった火格子温度が平均260℃程度まで低下しており、冷却効果が高いことが証明された。強制空冷による減温効果（最大200℃）で、目標である火格子温度350℃以下を維持しており、焼損の抑制が十分に期待できる。本施設では、現状での運転時間が約5800時間と、延命化の評価としてはまだ短いものであるが、焼損減肉は極めて少なく、良好な状況である。

今後20年間の運用において、強制空冷火格子の採用によって、長期安定運転による維持管理費用の削減を実現する。試算では、20年間で従来比約50%のメンテナンス費用削減を見込んでいる。

5-3 プラズマ式灰溶融炉

プラズマ式灰溶融炉（**写真4, 5**）は、プラズマトーチの先端で発生したプラズマアークによってプラズマガス中の一部をプラズマ化し、プラズマアークのジュール熱、プラズマガスの輻射熱及び伝熱によって、焼却主灰及びNo.1バグフィルタで捕集された飛灰を溶融し、無害なスラグに減容化する設備である。

本施設の特徴として、灰溶融炉と焼却炉の操作室を共用することによって、施設全体として効率の良い運転管理を行えるよう配慮した。また、作業動線を考慮した機器配置に加え、機器のトラブルや人的ミスが発生に対応したインターロック構成とすることによって、運転管理面、安全面に配慮した設備としている。

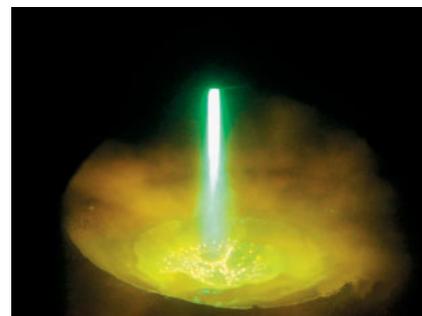
灰溶融炉は約1200℃の非常に高温下での運転を行う



09-81 04/225

写真4 灰溶融炉外観

Photo 4 Outside view of the ash melting furnace



09-81 05/225

写真5 灰溶融炉内部

Photo 5 Inside view of the ash melting furnace

ため、耐火物及びプラズマトーチ部品の耐久性が重要な課題のひとつである。これら耐火物及びトーチ部品の長寿命化は、施設稼働率の向上、補修費用の低減に大きく寄与するため、本施設は、この対策を最重要課題として設計した。耐火物は、材質や構成を見直して、補修周期

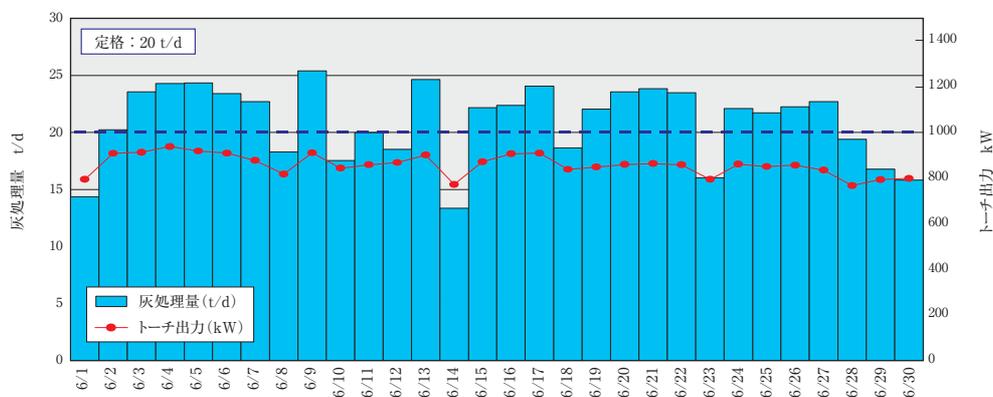
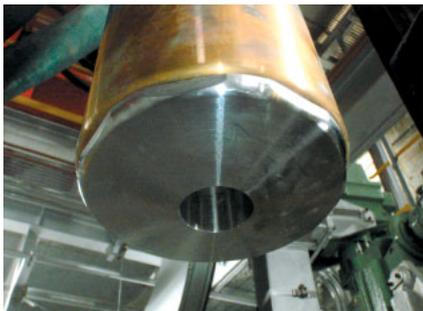


図11 運転状況

Fig. 11 Operation of ash melting furnace



09-81 06/225

写真6 クラッドコリメータ
Photo 6 Clad collimator

の長期化を目指している。またプラズマトーチ部品は、最も損傷が激しい先端部品であるコリメータに、より耐久性を向上させた仕様のクラッドコリメータ（写真6）を採用した。

現在、長寿命化の確認のため、各運転データを随時収集、解析しながら連続運転を行っている。トーチ部品の部品交換周期は、従来と比較して4倍程度の最長約2箇月間を達成することができた。

本施設におけるここ最近の運転状況（2009年6月）を図11に示す。高い稼働率で安定した運転を現在も継続中である。

6. おわりに

本施設は、当社納入の次世代ストーカ（HPCC21）の初号機であるとともに、DBO方式という新しい形態の事業にて建設された先進的な施設となっている。試運転及び性能試験で所定の性能を確認し、2008年9月から営業運転を開始している。このほど次世代技術を中心にその初期性能の確認を行い、予定どおりの性能が発揮されていることを確認できた。

運転開始以来、焼却炉、灰溶融炉とも計画どおりに運転を継続しているが、これから更に20年間という長期間にわたり運営委託による運転が行われる。今後は施設の長期安定性能についても確認していく。

最後に、本施設の建設に関して多大なるご指導を頂いた福島市の関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) ガス再循環を用いたストーカ式焼却プラントにおける低空気比燃焼, 第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集, P641-643 (2003).
- 2) Operation Status of Msw incinerator and development trend of new incineration technology, 4thi-CIPEC, P53-56.

注) ※HPCCは㈱荏原製作所の登録商標である。

